

Zugkraftbedarf bei verschiedenen Pflugscharen und gängigen
Abwandlungen an Verschleißteilen

Justus Weiß

Zugkraftbedarf bei verschiedenen Pflugscharen und gängigen Abwandlungen an Verschleißteilen

April 2003

Cand. agr. Justus Weiß hat am Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik an der agrarwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel eine Bachelorarbeit zum Thema: „Kraftbedarf bei verschiedenen Pflugscharen und gängigen Abwandlungen an Verschleißteilen“ vorgelegt.

Prüfer: Prof. Dr. E. Isensee und Dr. M. Weißbach

Diese RKL-Schrift ist ein Extrakt aus dieser Bachelorarbeit.

Inhalt

1	Einleitung	113
2	Kräfte am Pflugkörper	114
3	Messen der Zugkraft	114
4	Untersuchte Varianten und Variantenbeschreibung	114
5	Ergebnisteil	120
5.1	Allgemeiner Verlauf der Messdaten	120
5.2	Zugkraftbedarf einzelner Varianten	124
5.3	Treibstoffverbrauch für einzelne Varianten	124
6	Zusammenfassung	127

Abkürzungsverzeichnis

∅	Durchschnitt, Durchmesser
AB	Arbeitsbreite
AT	Arbeitstiefe
daN	deka-Newton (10N) (~1 kg)
DMS	Dehnungsmessstreifen
h	Stunde
Hz	Hertz
k.A.	keine Angaben
N	Newton
S	Sekunde
sd	Standardabweichung
t _{HW}	tiefe des Hauptwerkzeuges
V	Arbeitsgeschwindigkeit
Var.	Variante

1 Einleitung

Der Pflug ist trotz zunehmender Verbreitung nichtwendender Bearbeitungsverfahren das wichtigste Gerät in der Primärbodenbearbeitung. Unter den eng gesteckten Bedingungen der landwirtschaftlichen Produktion gilt es, den Pflug so effizient wie möglich einzusetzen.

Die Kosten für Verschleißteile wie Schar und Streichblech versuchen Praktiker durch Aufschweißen zu senken. Diese zusätzlich aufgeschweißten Verschleißteile können aber den Zugkraftbedarf erheblich beeinflussen.

In den vorliegenden Untersuchungen wurde der Zugkraftbedarf von derartig veränderten Pflugkörpern gemessen und mit einem Referenzkörper verglichen.

2 Kräfte am Pflugkörper

Die Belastung eines Pflugkörpers durch den Boden wird im Wesentlichen durch das Abtrennen (Schneiden), Heben und Beschleunigen des Erdbalkens, sowie durch Arbeits- und Führungsreibung ausgeübt. Der Pflugkörper ist ein in zwei Raumrichtungen angestelltes Bodenbearbeitungswerkzeug, dass in seiner Wirkungsweise mit der von zwei Keilen vergleichbar ist. Folglich greifen die Kräfte auf den Pflugkörper in drei Raumrichtungen an, die jedoch nicht durch einen Punkt gehen.

3 Messen der Zugkraft

Um den Zugkraftbedarf unterschiedlicher Pflugscharvarianten zu ermitteln, wurde ein 4-Schar-Pflug der Firma LEMKEN (Vari-Opal 8 4 N 90) eingesetzt, der mit Universalstreifenkörpern ausgestattet war. Die beiden mittleren Grindel dieses Pfluges wurden mit Dehnungsmessstreifen (DMS) beklebt. Der eine Pflugkörper wurde mit verschiedenen Verschleißteilen ausgestattet, der andere diente als Referenz. Beide liefen in dem 4-Schar-Pflug unter praxisingerechten Bedingungen.

Für die Messungen stand eine ebene Fläche zur Verfügung. Der Boden, war ein sandiger Lehm mit einer Bodenfeuchte von 12 Gew.%. Die Messungen wurden nach der Stoppelbearbeitung durchgeführt. Um vergleichbare Bedingungen zu schaffen, wurden alle Messungen bei jeweils gleicher Geschwindigkeit von 6 und 8 km/h, einer Arbeitstiefe von 28 cm und einer Schnittbreite der einzelnen Körper von 42 cm durchgeführt. Der Anstellwinkel zwischen Anlage und Scharblattschneide betrug 42°, der Anstellwinkel des Scharblattes selbst 22°.

4 Untersuchte Varianten und Variantenbeschreibung

Insgesamt wurden 13 Varianten untersucht. Für die Untersuchungen wurden Schare (siehe Tabelle 1: Varianten 1 bis 8) ausgewählt, die sich in Aufbau, Form, Stärke, Beschichtung und Abnutzungsgrad unterschieden. Zusätzlich zu den handelsüblichen Scharen wurden Schare, Streichbleche und Anlagen mit alten Verschleißteilen (siehe Tabelle 1: Varianten 9 bis 14) ausgebessert.

Bei der **Variante 1** (Abbildung 1) wurden beide Pflugkörper (2. und 3. Körper) mit dem Standardschar (SB 56 D) und der Standardspitze (B 2 S) der Firma LEMKEN ausgestattet. Beide Anbauteile sind in einem neuen Zustand montiert worden. Das

Scharblatt war 480 mm lang und 9 mm stark, die Spitze maß 235 mm in der Länge und war 18,5 mm stark. Mit der Variante 1 wurde der allgemeine Zugkraftwiderstand bei wechselndem Arbeitstempo und wechselnder Arbeitstiefe untersucht.



Abbildung 1: Variante 1



Abbildung 2: Variante 2

In den Varianten 2 bis 8 wurden Scharblatt- und Scharspitzenkombinationen verschiedener Hersteller verglichen. Die Variante 2, montiert am 3. Pflugkörper, ist somit der erste Vergleich zum Zugkraftwiderstand des LEMKEN Standardschars (Referenzsystem am 2. Pflugkörper).

Bei der **Variante 2** (Abbildung 2) wurde ein neues Scharblatt der Firma MÖLBRO an den 3. Pflugkörper montiert. In der Länge maß das Scharblatt 470 mm und hatte eine Stärke von 9 mm. Als Schraubspitze wurde eine neue LEMKEN Standardspitze (B 2 S) verwendet.

Die **Variante 3** (Abbildung 3) wurde durch eine LEMKEN Standardschar (SB 56 D) in Kombination mit einer LEMKEN Standardspitze (B 2 S) repräsentiert, beide Bodenwerkzeuge waren gebraucht und sind so montiert worden. Durch den Verschleiß war die Länge der Spitze auf 190 mm, und die Stärke auf 12 mm reduziert worden. Das Scharblatt besaß, bei einer konstant gebliebenen Länge, nur noch eine Stärke von 6,5 mm.

Variante 4 (Abbildung 4) bestand aus einem gebrauchten LEMKEN Standardschar (Länge 470 mm, Stärke 6,5) in Verbindung mit einer neuen, beschichteten LEMKEN Standardspitze (B 2 SP). Diese Spitze war, bei einer Stärke von 19,5 mm, 250 mm lang.



Abbildung 3: Variante 3



Abbildung 4: Variante 4



Abbildung 5: Variante 5

In der **Variante 5** (Abbildung 5) kam ein Schnabelschar der Firma FRANK zum Einsatz. Dieses Schar wurde in einem gebrauchten Zustand an den Pflugkörper montiert. Die Länge des Scharblattes betrug 470 mm bei einer Stärke von 12 mm, die Stärke des Schnabels lag bei 24,5 mm und dessen Länge war mit 180 mm zu beziffern.

Da die **Variante 6** einen rein akademischer Ansatz hatte soll sie unter der praktischen Prämisse dieser RKL-Schrift keine Erwähnung finden.

In der Abbildung 6 ist die **Variante 7** dargestellt. Es wurde ein neues Scharblatt (Super 3) der Firma HTU verwendet. Es war 500 mm lang und mit 4,5 mm in diesem neuen Zustand sehr scharf. Die Spitze hatte eine Länge von 280 mm bei einer Stärke von 23,5 mm.

Die Abbildung 7 zeigt die **Variante 8**, hier kam ein bereits abgenutztes Scharblatt (Super 3) der Firma HTU zum Einsatz. In diesem Abnutzungszustand maß die Stärke des Scharblattes 8,2 mm bei einer Länge von 475 mm. Der Schnabel war nur noch 230 mm lang und die Stärke auf 22 mm reduziert.



Abbildung 6: Variante 7



Abbildung 7: Variante 8

Die folgenden Varianten 9 bis 14 waren mögliche Modifikationen an Verschleißteilen. An Hand dieser Varianten wurde die Auswirkung der Veränderungen an Pflugkörperbestandteilen in Hinblick auf den Zugkraftbedarf ermittelt. Referenzsystem war auch hier das Standardschar mit Standardspitze der Firma LEMKEN.



Abbildung 8: Variante 9

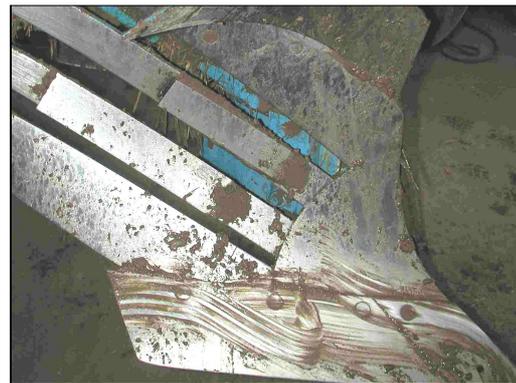


Abbildung 9: Variante 10

Bei der **Variante 9** (Abbildung 8) wurde auf den Streifen (BS 40-42) des Streifenkörpers ein Flacheisen (200 mm x 50 mm x 8 mm) aufgeschweißt, die **Variante 10** (Abbildung 9) unterschied sich durch ein weiteres Flacheisen (300 x 65 x 6) auf dem Streifenkörper von der Variante 9.

Die **Variante 11** (Abbildung 10) wurde zusätzlich, zu den beiden Flacheisen am Streifenkörper, mit einer gebrauchten Wechselspitze versehen. Diese gebrauchte Scharspitze wurde auf die bereits vorhandene Wechselspitze aufgeschweißt. Beide Spitzen waren ca. 28 mm stark.

Wie man in der Abbildung 11 sehen kann, hat die **Variante 12** durch Aufschweißen einen zweiten Anlagekeil (AK 10) erhalten. Diese doppelte Ausführung war 20 mm breit und verursachte durch ihr Überstehen die Bildung von Erdkeilen. Diese Veränderung wurde zusätzlich zu den in Variante 11 bereits erwähnten Veränderungen ausgeführt.



Abbildung 10: Variante 11



Abbildung 11: Variante 12



Abbildung 12: Variante 13



Abbildung 13: Variante 14

Bei den Varianten 13 und 14 wurden die Anlagen der Pflugkörper verändert.

Die **Variante 13** (siehe Abbildung 12) war eine auf die Anlage aufgeschweißte Stahlplatte mit den Massen 240 mm x 180 mm x 8 mm. Diese Platte wurde im hinteren Bereich der Anlage (A 42) befestigt, bei der Anlage handelte es sich um die 420 mm lange Ausführung, sie war 120 mm hoch und 12 mm stark.

Bei der **Variante 14** (Abbildung 13) wurden auf die 360 mm kurze Anlage (A 36 H) zwei Flacheisen aufgeschweißte. Die verwendeten Flacheisen waren 360 mm lang, 65 mm hoch und 8 mm stark. Die verwendete Ausführung der Anlage maß 180 mm in der Höhe und war 12 mm stark. Variante 13 und Variante 14 wurden, im Gegensatz zur Variante 12, mit einem einfachen Anlagekeil ausgestattet.

Die Maße der jeweiligen Scharblätter, der Scharspitzen und der Veränderungen wurden zur besseren Übersichtlichkeit in Tabelle 1 zusammengefasst.

Var.	Scharblatt					Scharspitze					Veränderungen
	Hersteller	Verarbeitung	Zustand	Länge	Stärke	Hersteller	Verarbeitung	Zustand	Länge	Stärke	Maße [mm]
1	LEMKEN	Standard	neu	480	9,0	LEMKEN	Standard	neu	235	18,5	
2	MÖLBRO	Standard	neu	470	9,0	LEMKEN	Standard	neu	235	18,5	
3	LEMKEN	Standard	gebraucht	470	6,5	LEMKEN	Standard	gebraucht	190	12,0	
4	LEMKEN	Standard	gebraucht	470	6,5	LEMKEN	beschichtet	neu	250	19,5	
5	FRANK	Standard	gebraucht	470	12,0			gebraucht	180	24,5	
7	HTU	beschichtet	neu	500	4,5			neu	280	23,5	
8	HTU	beschichtet	gebraucht	475	8,2			gebraucht	230	22,0	
9	LEMKEN	Standard	neu	480	9,0	LEMKEN	Standard	neu	235	18,5	Flacheisen I: 200 x 50 x 8
10	LEMKEN	Standard	neu	480	9,0	LEMKEN	Standard	neu	235	18,5	Flacheisen II: 300 x 65 x 6
11	LEMKEN	Standard	neu	480	9,0	LEMKEN	Standard	neu	235	28,0	Doppelte Spitze: 28
12	LEMKEN	Standard	neu	480	9,0	LEMKEN	Standard	neu	235	28,0	Doppelter Anlagekeil: 20
13	LEMKEN	Standard	neu	480	9,0	LEMKEN	Standard	neu	235	28,0	Anlage: 420 x 120 x 12 Stahlplatte: 240 x 180 x 12
14	LEMKEN	Standard	neu	480	9,0	LEMKEN	Standard	neu	235	28,0	Anlage: 360 x 180 x 12 2 Flacheisen: 360 x 65

Tabelle 1: Technische Daten und Abmaße der verschiedenen Varianten

5 Ergebnisteil

5.1 Allgemeiner Verlauf der Messdaten

Da alle Messdaten als diskontinuierliche Kraftkurven ermittelt wurden, die durch die benötigte Kraft zum Bodenaufbruch und anderer Einflussfaktoren dynamische Verläufe aufwiesen, mussten diese Kurven geglättet werden.

Zu diesem Zweck wurde für die ermittelten Daten ein gleitender Mittelwert über je zehn Werte errechnet, so dass sich die durchschnittliche Grundbelastung der beiden geglätteten Messfunktionen festlegen lässt. Aus der durchschnittlichen Differenz zwischen der Grundbelastung am 2. zu der am 3. Pflugkörper kann eine Aussage über die Kraftaufnahmeunterschiede zwischen Referenzkörper und der untersuchten Variante getroffen werden (Abbildung 14).

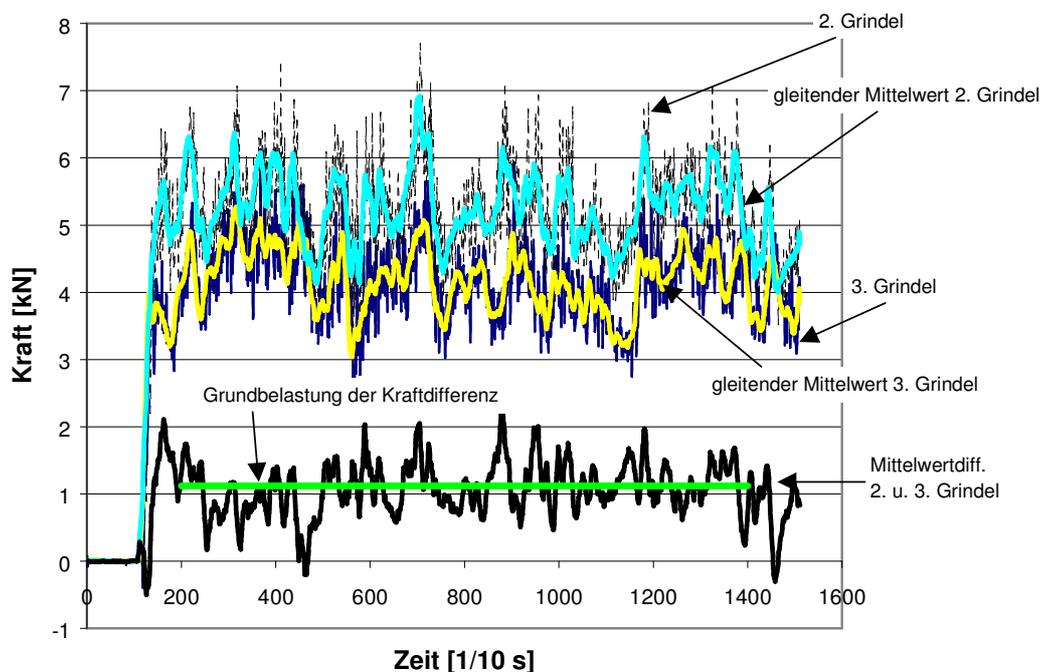


Abbildung 14: Datenaufbereitung zur Ermittlung der Zugkraftdifferenz

5.2 Zugkraftbedarf einzelner Varianten

In Abbildung 15 sind die Ergebnisse der Untersuchung als Übersicht über alle Varianten dargestellt. Die Unterschiede werden relativ zum Zugkraftbedarf des Standardkörpers ausgewiesen. Bei den Varianten 2 bis 8 handelt es sich um verschiedene Scharformen und Scharspitzen, die daran anschließenden Varianten waren Abwandlungen an Verschleißteilen des Pflugkörpers.

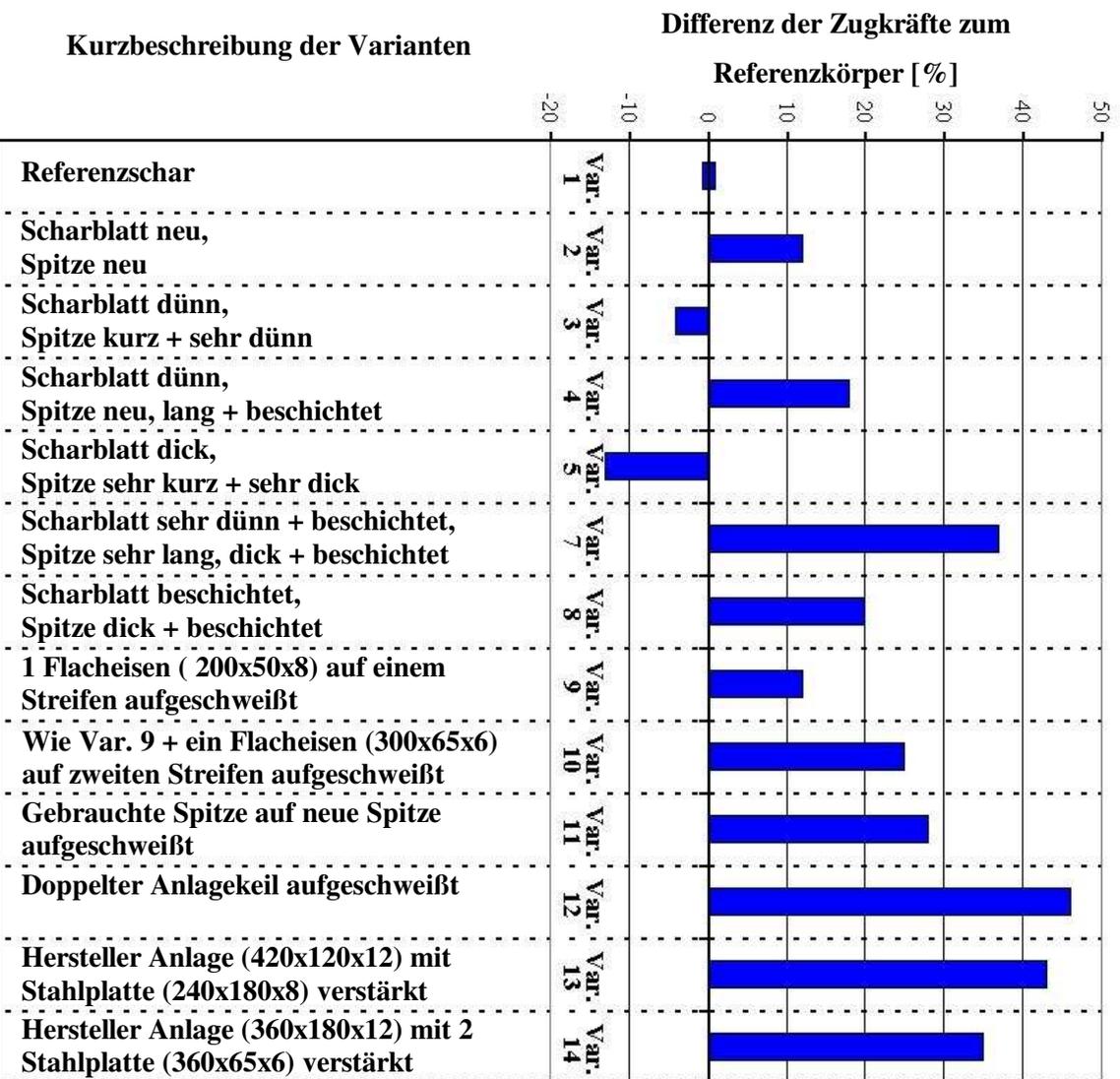


Abbildung 15: Mittlere Veränderung des Kraftbedarfs der Varianten im Vergleich zum Referenzsystem.

Aus der Tabelle 2 sind die absoluten Zugkraftwerte der Varianten zu entnehmen. Neben der Kraftaufnahme des Referenzschares ist der Mittelwert der Differenz zwischen Referenzschar und jeweiliger Variante ausgewiesen. Für die Differenzwerte sind die jeweiligen Standardabweichungen angeführt, um die Streuung interpretierbar zu machen. Aufgrund des Bodenaufbruchs sind die Standardabweichungen der Messwerte im allgemeinen groß.

Tabelle 2: Mittelwerte der Kraftdifferenzen und deren Standardabweichung bei 8 km/h, ausgewiesen für jede Variante.

	Var. 2	Var. 3	Var. 4	Var. 5	Var. 7	Var. 8	
Referenzschar [kN]	4,615	4,327	4,581	3,845	4,332	4,271	
Ø der Differenz [kN]	0,333	-0,164	0,881	-0,290	1,702	1,026	
Standardabweichung [kN]	0,333	0,545	0,469	0,357	0,874	0,502	
	Var. 9	Var. 10	Var. 11	Var. 12	Var. 13	Var. 14	Ø Var. 2-14
Referenzschar [kN]	4,447	4,090	4,866	4,084	4,244	4,131	4,301
Ø der Differenz [kN]	0,541	1,289	0,877	1,705	1,813	1,407	---
Standardabweichung [kN]	0,366	0,488	0,502	0,533	0,412	0,502	---

Um den Einfluss und die Bedeutung der verschiedenen Parameter auf die Veränderung des Zugkraftbedarfs zu analysieren, wurde eine multivariate Regressionsanalyse durchgeführt. Diese sollte die Auswirkung der veränderten Parameter unter den spezifischen gegebenen Umweltbedingungen offen legen. Die betrachteten Parameter waren die Länge und die Stärke der Scharspitze bzw. des Scharblattes in Kombination mit zwei Arbeitsgeschwindigkeiten. Alle Maße, die in die Analyse einfließen, ergaben sich durch die verwendeten Schare (siehe Tabelle 1) der Varianten 2 bis 8, wobei die Variante 6 keine Berücksichtigung fand.

Die Ergebnisse der multivariaten Regressionsanalyse lassen sich wie folgt zusammenfassen: Unter den gegebenen Bedingungen ließ sich ausschließlich ein hoch signifikanter Einfluss der Scharspitzenlänge auf den Zugkraftbedarf nachweisen. Bei der Steigerung der Scharspitzenlänge bedeutete dies für jeden weiteren Zentimeter an Scharspitzenlänge einen Zuwachs des Zugkraftbedarfs von rund 20 daN am Pflugkörper. Bezogen auf den gesamten Pflug stieg der Zuggleistungsbedarf um 0,77 kW pro Zentimeter Scharspitzenlänge. Dies ist ein Zuwachs von 7,72 kW am gesamten Pflug, vergleicht man die kürzeste (180 mm) mit der längsten (280 mm) Scharspitzenvariante. Eine übermäßig lange Scharspitze im Vergleich zum Schar ist also nicht zu empfehlen.

Somit ist die Länge der Scharspitze der Faktor, der die Ausprägungen der relativen Zugkraftwerte in Abbildung 15 interpretierbar macht. Der Hauptgrund für die verringerte Leistungsaufnahme der Varianten 3 und 5, ist in der geringen Scharspitzenlänge zu suchen. Die Spitzenlängen von 19 cm bzw. 18 cm sorgen für einen geringeren

Untergriff, der sich positiv auf den benötigten Zugkraftbedarf auswirkt. Im Schnitt waren die Spitzen der übrigen Varianten 2, 4, 7 und 8 um 64 mm länger. Mit der entsprechenden Winkelfunktion berechnet, ergibt sich bei dem hier zugrunde liegenden Anstellwinkel von 22°, ein tieferer Griff der Spitze von 24 Millimetern. Ein Zentimeter Scharspitzenlänge steigert den effektiven Untergriff lediglich um 3,8 Millimeter, bezogen auf diesen effektiven Untergriff steigert sich die Zugkraftaufnahme um 5,13 daN/mm an jedem Pflugkörper.

Zu erwähnen bleibt, dass die übrigen Parameter (Arbeitsgeschwindigkeit, Scharblattlänge und –stärke sowie die Scharspitzenstärke) sicher auch einen bedeutenden Einfluss auf die Leistungsaufnahme haben. Der Grund, dass deren Bedeutung in dieser Schätzung nicht zum Ausdruck kommt, liegt vermutlich an der geringen Varianz in den Maßen der einzelnen Parameter, und an den als ideal zu bezeichnenden Versuchsbedingungen.

Allgemein betrachtet, steigert die Materialstärke bei geringen Bodenfeuchten den Zugkraftwiderstand erheblich. In trockneren Böden würde sich vermutlich die Scharblattstärke deutlich negativer auf den Zugkraftbedarf auswirken. Für den Praktiker zeigt sich dieser Einfluss meist durch schlechtes Einziehen der Pflugkörper in den Boden –er wechselt in diesem Fall zu neuen, schärferen Scharen und Spitzen.

Abbildung 16 zeigt den zunehmenden Kraftbedarf durch das sukzessive Modifizieren der verschiedenen Verschleißteile. Das Anbringen der beiden Flacheisen (Variante 9 und 10) am Streifenkörper steigerte den Kraftbedarf jeweils um rund 12,5 %. Die doppelte Scharspitze, die in Variante 11 aufgeschweißt wurde, erhöhte den Zugkraftbedarf lediglich um 3 %.

Der doppelte Anlagekeil, der in Variante 12 eingesetzt wurde, erhöhte die Kraftaufnahme um 18 %. Diese Variante war, mit ihrer um 46 % gesteigerten Leistungsaufnahme, die schwerzügigste Variante des Versuchs. Die Varianten 13 und 14, bei denen die Anlagen verändert wurden, steigerten den Zugkraftbedarf, verglichen mit der Variante 11, geringfügiger. Der Zugkraftbedarf erhöhte sich um 15 und 7 Prozent.

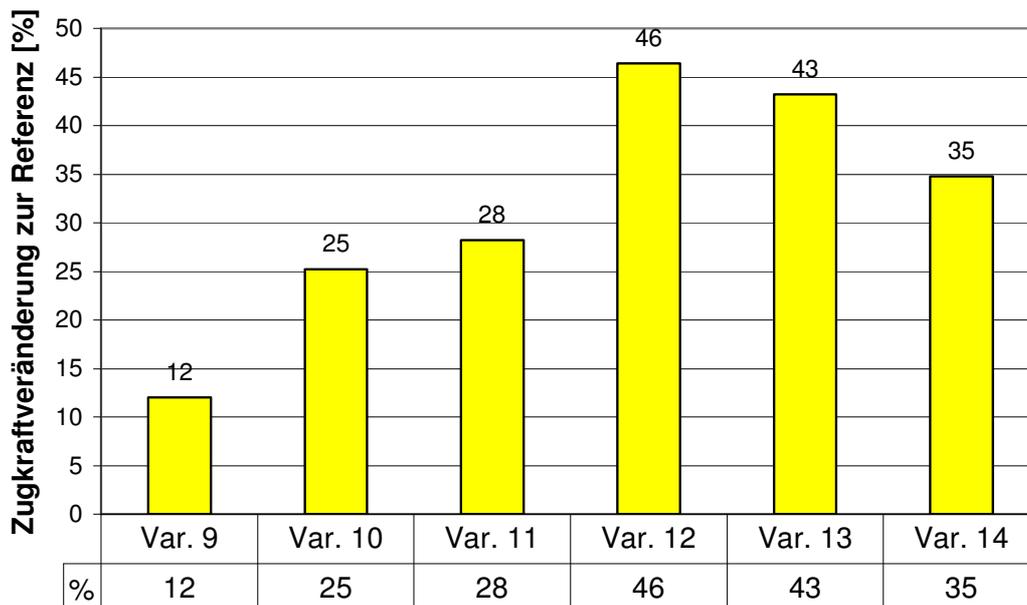


Abbildung 16: Veränderung der mittleren Zugkräfte der modifizierten Pflugkörperverschleißteile im Vergleich zum Referenzsystem (Standardschar entspricht der Nulllinie)

Die Ursachen für die Differenzen zwischen den einzelnen Varianten sind vielfältig. Hauptgrund für steigende Zugkräfte ist ein schlechter Übergang zwischen den aufgeschweißten Materialien und dem darunter befindlichen Verschleißteil. An solchen Staukanten ergibt sich für den sonst fließenden Boden ein Widerstand. Zusätzlich zeigt sich, dass an diesen Stellen Erdkeile auflaufen, die dazu führen, dass die angestaute Erde an der fließenden Erde reibt. Energetisch ist das Reiben von Erde auf Erde als besonders ungünstig zu beurteilen, Erde sollte möglichst über glatten Stahl „fließen“. Bei den Varianten 9, 10, 12, 13 und 14 zeigte sich diese Ursache eindeutig. In Abbildung 11 und Abbildung 12 sind die angestaute Erdkeile gut sichtbar.

5.3 Treibstoffverbrauch für einzelne Varianten

Der Aspekt des Treibstoffverbrauchs soll im folgenden an zwei Beispielen betrachtet werden, wobei man in Schleswig-Holstein von einem durchschnittlichen Dieserverbrauch beim Pflügen von etwa 20–25 Litern pro Hektar ausgehen kann.

Für die nachstehenden Schätzungen wurde ein Wirkungsgrad von 50 % bei einem Schlupf von 5 % zugrunde gelegt. Die hiermit errechneten Werte fußen stets auf den erhobenen Daten. Es sind jedoch nicht die absoluten Werte, sondern die daraus abzuleitenden Gesetzmäßigkeiten auf praktische Anwendungen übertragbar.

Im Beispiel I (siehe Tabelle 3) ist ein überdimensionierter Schlepper mit dem im Versuch genutzten Pflug ausgerüstet. Da der Schlepper für das Ziehen des Pfluges nur einen geringeren Teil seiner maximalen Leistung aufwenden muss, ist dessen Die-

selverbrauch entsprechend niedrig. Ein 107 kW Schlepper würde für den Vierscharpflug ausgerüstet mit dem Referenzschar, bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von 8 km/h, etwa 46 kW/m Arbeitsbreite (15,5 l/h) (siehe Tabelle 4) benötigen. Werden die Schare des Pfluges gegen die Schare der Variante 2 ausgewechselt, so steigt der Leistungsbedarf des Schleppers um 6 kW pro m Arbeitsbreite (17,9 l/h) an. Für den eingesetzten Pflug bedeutet dies, dass sich bei konstanter Flächenleistung eine Verbrauchssteigerung um 2,4 l/h einstellen würde. Bei einer angenommenen Flächenleistung von etwa 0,77 ha/h steigt ergo der Mehrverbrauch von 20,2 l/ha auf 23,2 l/ha an. Dies bedeutet Mehrkosten von 2,40 €/ha.

Tabelle 3: Veränderung von Dieselverbrauch und Arbeitszeitbedarf an zwei Beispielen.

		Beispiel	
		I	II
Schlepperleistung	[kW]	107	45
Pflugleistungsbedarf	[kW]	46	45
Schlepperauslastung	[%]	42	100
Arbeitsgeschwindigkeit	[km/h]	8,0	8,0
Zeitbedarf	[Akh/ha]	1,3	1,3
Flächenleistung	[ha/h]	0,77	0,77
Kraftstoffverbrauch	[l/h]	15,5	15,5
	[l/ha]	20,2	20,2
Arbeitsgeschwindigkeit	[km/h]	8,0	6,9
Zeitbedarf	[Akh/ha]	1,3	1,51
Flächenleistung	[ha/h]	0,77	0,66
Kraftstoffverbrauch	[l/h]	17,9	20,2
	[l/ha]	23,2	30,5
Kraftstoffkosten	[€/ha]	+ 2,4	+ 8,2
Lohnansatz	[€/ha]	+ 0,0	+ 3,2
Summe Mehrkosten	[€/ha]	+ 2,4	+ 11,4

Im Beispiel II (siehe Tabelle 3) soll die Leistung des Schleppers stets maximal gehalten werden. Für diesen Fall ist der Schlepper in seiner Leistung dem Bedarf des Pfluges (45 kW/m AB) angepasst, der Schlepper ist in der Lage, den Pflug bis zu einer Arbeitsgeschwindigkeit von maximal 8 km/h zu ziehen. Werden die Schare ebenfalls, wie im ersten Beispiel erwähnt, ausgetauscht, so ist der Schlepper nicht in der Lage die Arbeitsgeschwindigkeit zu halten. Folglich muss der Fahrer in einen niedrigeren Gang wechseln, die Flächenleistung würde sinken. Die maximale Leistung des

Schleppers reicht bei diesem Einsatz lediglich für eine Arbeitsgeschwindigkeit von rechnerisch 6,9 km/h aus.

Tabelle 4: Rechnerischer Leistungsbedarf des Vierscharpfluges und entsprechender Dieserverbrauch der unterschiedlichen Varianten in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit. * Wirkungsgrad von 50 % bei 5 % Schlupf, **über alle Varianten, * Spezifischerverbrauch von 233 g/kWh - Dichte 860 g/l - Treibstoffpreis 0,80 €/l.**

Var.	V [km/h]	Zugkraftbedarf des Pfluges		Schleppe r- leistungs- bedarf* [kW/m]	errechneter, spezifischer Dieselverbrauch***				
		absolut [kN]	spez. [kN/m]		$\left[\frac{g}{m} * h^{-1}\right]$	$\left[\frac{l}{m} * h^{-1}\right]$	[l/h]	[l/ha]	€/ha
Ø der Referenz**	8	17,2	10,2	46	10.605	12,3	15,5	20,2	16,2
2	8	19,8	11,8	52	12.198	14,2	17,9	23,2	18,6
3	8	16,7	9,9	44	10.265	11,9	15,0	19,6	15,6
4	8	21,8	13,0	58	13.468	15,7	19,7	25,7	20,5
5	8	14,2	8,5	38	8.766	10,2	12,8	16,7	13,4
7	8	24,1	14,4	64	14.877	17,3	21,8	28,3	22,7
8	8	21,2	12,6	56	13.061	15,2	19,1	24,9	19,9
9	8	20,0	11,9	53	12.299	14,3	18,0	23,4	18,7
10	8	21,5	12,8	57	13.262	15,4	19,4	25,3	20,2
11	8	23,0	13,7	61	14.159	16,5	20,7	27,0	21,6
12	8	23,2	13,8	61	14.271	16,6	20,9	27,2	21,7
13	8	24,2	14,4	64	14.935	17,4	21,9	28,4	22,8
14	8	22,2	13,2	59	13.655	15,9	20,0	26,0	20,8

Für die Maximierung der Zugleistung eines Schleppers ist die Optimierung von drei Faktoren besonders geeignet.

Der erste Faktor ist das Gewicht des Schleppers. Ein Schlepper kann nur soviel Zugkraft auf den Boden geben, wie dessen Eigengewicht beträgt. Benötigt ein Arbeitsgerät beispielsweise eine Zugkraft von 24,2 kW (Variante 13), so muss das Gewicht des Schleppers, bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von 8 km/h, mindestens 4,8 t betragen.

Als zweiter Faktor ist der Schlupf zu nennen. Vermehrter Schlupf steigert die Zugkraft, wobei bemerkenswert erscheint, dass maximale Zugkräfte nur bei erhöhtem Schlupf abgegeben werden können. Schlupfwerte von bis zu 15% sind dann keine Besonderheit. Ein Steigern des Gewichtes und Schlupf heben somit die Zugkraft des Schleppers an.

Dritter Faktor ist die Bereifung. Bei der Wahl des Reifens sollte auf eine große Aufstandsfläche geachtet werden. Diese ergibt sich aus der Breite und dem Raddurchmesser, jedoch kann durch das Absenken des Luftdrucks die Aufstandsfläche zusätzlich erhöht werden. Diese Fläche gibt die Grundlage einer großflächigen „Verzahnung“ des Reifens mit dem Boden und somit für die Zugkraftübertragung.

6 Zusammenfassung

In dieser Arbeit sind die Zugkraftwiderstände verschiedener Pflugschare und gängiger Abwandlungen an Pflugkörperverschleißteilen im Vergleich zu einem Standardkörper gemessen worden. Diese ermittelten Veränderungen der Zugkraftwerte sind jeweils für deren kausale Einflussfaktoren quantitativ zusammenzufassen.

Für die gewählten Arbeitsgeschwindigkeiten verlief die Kraft linear. Im untersuchten Bereich von 4 bis 10 km/h steigert sich der Zugkraftbedarf pro zusätzlichen km/h um 133 N/Körper. Dies entspricht einer Kraftsteigerung von 3,2 %, die ergo für den gesamten Pflug gilt. In den Zugkraftwerten der vierzehn ausgewerteten Varianten ist diese Gesetzmäßigkeit größtenteils wiederzufinden.

Der Einfluss der Arbeitstiefe wirkt sich ebenfalls linear auf die benötigte Zugkraft aus. Die Ergebnisse zeigen, dass die Steigerung der Arbeitstiefe einen Zugkraftzuwachs von 6,4 % pro Zentimeter bewirkt. Ein Zentimeter zusätzlicher Arbeitstiefe beansprucht 260 N/Körper in der Arbeitstiefe zwischen 20 und 30 cm.

Die Gründe für die differente Kraftaufnahme der einzelnen Varianten liegen in den Maßen der Verschleißteile bzw. deren Form nach der Abwandlung.

Es kann mittels multivariater Regressionsanalyse ein großer Einfluss der Scharspitzenlänge auf den Zugkraftbedarf nachgewiesen werden. Eine Steigerung der Kraft um 5 % ergibt sich durch jeden zusätzlichen Zentimeter Scharspitzenlänge. Dies resultiert, da durch die Scharspitzenlänge wie auch durch neue Scharblätter der effektive Untergriff erhöht wird. Für diese Versuchsanstellung konnte jedoch lediglich eine Signifikanz für den Einfluss der Scharspitzenlänge nachgewiesen werden.

Für die Varianten an deren Verschleißteilen Abwandlungen stattfanden, ist festzuhalten, dass stumpfe Übergänge zwischen den aufgetragenen Metallen und dem Unterbau tunlichst vermieden werden müssen. Stufige Übergänge induzieren das Auflaufen von Erdkeilen. Es kommt zu Reibung zwischen den anhaftenden und den fließenden Erdmassen welche in hohem Masse zur Zugwiderstandssteigerung beitragen. Bei der Realisierung von Ausbesserungen an Verschleißteilen in der Praxis sind durch optimale Übergänge deutlich niedrigere Zugkraftsteigerungen zu erwarten. Bei Mehrkosten an Diesel von 2 €/ha dürften Verschleißteile (z.B. Schare) an einem 4-furchigen Drehpflug, die 100 ha halten, ($200 \text{ €} / 8 \text{ Schare} = 25 \text{ €} / \text{Schar}$) mehr oder weniger kosten, wenn sie in beiden Fällen etwa gleiche Einsatzleistungen bringen.